



TITLE:

Large-Scale Quasi-Dynamic Earthquake Cycle Simulations with Hierarchical Matrices Method(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Ohtani, Makiko

CITATION:

Ohtani, Makiko. Large-Scale Quasi-Dynamic Earthquake Cycle Simulations with Hierarchical Matrices Method. 京都大学, 2015, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2015-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k18800>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開

京都大学	博 士 (理 学)	氏名	大谷 真紀子
論文題目	Large-Scale Quasi-Dynamic Earthquake Cycle Simulations with Hierarchical Matrices Method		
(論文内容の要旨)			
<p>岩石実験から得られたすべり速度と状態依存の摩擦則に基づく、地震サイクルシミュレーション (ECS) は、歴史地震の履歴および多様なすべりの相互作用を明らかにし、海溝型巨大地震の発生予測を目指して行われている。通常、計算コストの点から、境界要素法による、放射減衰項を用いた準動的ECSが行われている。プレート境界をM個の小断層セルに分割すると、計算コストは$O(M^2)$で増大する。また、摩擦パラメータで決まる臨界サイズより小さなセルサイズを用いる必要があり、超巨大地震からゆっくり地震に至るすべりの多様性とその相互作用を計算するには、Mすなわち計算コスト ($O(M^2)$) が膨大になる。</p> <p>そこで本論文では、階層型 (H) 行列法をすべり応答関数 (SRF) に適用し、ECSに要するメモリやコストを$O(M) \sim O(N \log M)$へと削減する省メモリ・高速化に成功した。まず、このH行列法を用いて、2011年東北地方太平洋沖地震 (M9) サイクルのモデル化を行い、数百年といった長い発生間隔、500x200kmに及ぶ広い震源域、日本海溝軸近傍に発生した50mを越える地震時すべり域、更に震源域内に発生する再来間隔が20~40年のM7級の地震などの観測事実を説明し、また地震発生前に観測された福島沖でのゆっくりすべりの発生の再現にも成功した。</p> <p>次に、現状のECSではいくつかの単純化が行われているが、その中からまず、地表面形状の問題を取り上げた。現状のECSでは、SRFの解析解がある平面境界を持つ半無限均質弾性体を仮定しているが、無限弾性体中でのSRFを用いて、任意形状の自由表面を持つ半無限媒質での効率的なSRF計算法を開発し、H行列法を用いたECSを行った。その結果、深さ7kmに及ぶ日本海溝などの海底地形は、発生間隔が短くなるといった影響を及ぼすことが分かった。またこの手法を用いて異なる深さの海溝軸を持つ日本海溝や南海トラフを同時に扱う列島規模ECSを実現した。</p> <p>また、全無限媒質における平面断層の場合はすべりによる法線応力は変化しないが、地表面の存在や非平面プレート境界では、すべりによる法線応力が変化する。摩擦力は摩擦係数と法線応力の積で与えられ、摩擦係数の変化に加えて法線応力の変化はECSに影響を与える可能性がある。そこで、せん断応力に加え法線応力変化も考慮したH行列法によるECSを行った。まず海山の沈み込みを模したモデルで評価を行った。海山の沈み込みは破壊の伝播を止めるバリアとして働くといわれているが、形状による地震サイクル中の法線応力変化は増加・減少部分があり、必ずしもバリアとなる訳ではないことが分かった。次に海嶺列の沈み込みの影響を調べたところ、海嶺の谷部でゆっくり地震が繰り返し発生した。ゆっくり地震は高間隙流体が引き起こしていると考えられているが、東海地方では海嶺列が沈み込んでおり、これもゆっくり地震発生の一要因と考えられる。</p> <p>最後に、南海トラフ巨大ECSにおける、フィリピン海プレートの3次元形状といった長波長の起伏の影響と海底地形の影響を調べた。長波長の起伏による法線応力の変化のESCに及ぼす影響はほとんどなく、これまでのECS計算の妥当性を裏付けた。これに対し、海溝深さの影響は繰り返し間隔を短くすることが分かった。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

プレート境界では繰り返し地震が発生している。これを地震サイクルと呼ぶが、巨大地震同士や多様なすべりとの相互作用で複雑な地震サイクルとなる。実験から得られた岩石の摩擦則を用い、海溝型巨大地震の発生予測を目指して、地震サイクルシミュレーション (ECS) が行われている。現状のECSでは、主として計算コストの点から、様々な簡単化がなされている。本論文は、ECSの高度化、すなわち計算の効率化を図るとともに、これらの簡単化の影響を調べて、より現実的な大規模マルチスケールECSを実現したものである。

まず、ECS計算の省メモリ・高速化を実現している。プレート境界を M 個の小断層セルに分け、境界要素法による準動的ECSを実行するが、その際計算コストは $O(M^2)$ となる。大規模マルチスケールECSではこの M が膨大になり現実的な計算が困難になる。そこで、すべり応答関数 (SRF) 行列に階層型 (H) 行列法を適用し階層的に圧縮を行い、計算コストを $O(M) \sim O(M \log M)$ に減少させ、大規模ECSを実現した。申請者はこの手法により、2011年東北地方太平洋域地震 (M9) サイクルモデルを構築し、この超巨大地震の発生を解明する上で重要な知見を得た。

次に、ECSにおいて行われてきた簡単化の中で、これまで考慮されなかった、地表面形状の効果および非平面プレート境界面上でのすべりによる法線応力変化をECSに取り入れる効率的な手法を開発し、より現実的なECSへと研究を進めた。地表面形状については、海溝の影響で繰り返し間隔が短くなることを示すと同時に、異なる深さの日本海溝および南海トラフ沿いに発生する巨大地震の相互作用を扱う列島規模ECSを実現させた。また、プレート境界面の様々なスケールの起伏に対する法線応力変化を調べその影響を見積もった。破壊を止めるバリアになると考えられてきた沈み込む海山が必ずしもそうではないことや、沈み込む海嶺列では谷部でゆっくり地震が繰り返し発生し、東海沖のゆっくり地震は沈み込む海嶺列により引き起こされている可能性があることを示した。これに対し、フィリピン海プレートに見られる長波長のプレートの屈曲はそれほど大きな影響を持たず、この点ではこれまでのECS計算の妥当性が示された。

以上のように、申請者はH行列法を導入し、弾性問題ではあるが、大規模マルチスケール準動的ECSを実現させ、これまで考慮されてこなかった地表面形状、および非平面プレート形状に由来する法線応力変化が、ECSに大きく影響する場合があることを示した。これらは全て、申請者が初めてECSに導入し行った研究で、より現実的な大規模マルチスケールを扱うECSへと研究を大きく前進させた。また、現状では計算負荷が高くあまり行われていない、動的サイクル計算や粘弾性媒質を扱うといった、更に現実的なECS計算にもH行列を適用して高速化を実現できる可能性を示しており、海溝型巨大地震の発生予測を目指すECS計算に、新たな道を拓いた研究として高く評価できる。

よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年1月19日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降